Iranian Journal of Animal Science Research
Homepage: http://ijasr.um.ac.ir

Research Paper
Vol. 15, No. 2, Summer 2023, p. 199-210

Effect of Heat Processing on Nutrient Digestibility and Metabolizable Energy of Canola Seed in Broiler Chickens

Najeebullah Fayaz[1], Hassan Kermanshahi[2], Heydar Zarghi[3*]

Received: 14-03-2022
Revised: 24-07-2022
Accepted: 26-07-2022
Available Online: 26-07-2022

How to cite this article:
Fayaz, N., Kermanshahi, H., and Zarghi, H. (2023). Effect of heat processing on nutrient digestibility and metabolizable energy of canola seed in broiler chicken. *Iranian Journal of Animal Science Research*, *15*(2), 199-210.
DOI:10.22067/ijasr.2022.75836.1068

Introduction: During the past decades, rapeseed production, including canola varieties, has surpassed peanut, sunflower, and even cottonseed in production, and ranks second among oilseed crops worldwide. Due to its drought endurance, canola may be the preferable grain for cultivation in several locations of Iran. Canola seed (CS) is an economic feed ingredient containing well-balanced protein (19 to 22%) and a high oil content, up to 45% in some cases. Apart from the oil content of CS, its concentration of dietary fiber, glucosinolates, and tannins are of concern. Canola has less glucosinolates and erucic acid than rapeseed. It, resulting in a higher level of vital nutrients and higher nutrient density. The nutrient composition and presence of anti-nutritional factors in CS may also affect its quality and feeding value for poultry. However, the presence of some glucosinolates, erucic acid, and other undesirable compounds such as phytates, polyphenols, and soluble non-starch polysaccharides (NSPs) may reduce nutrient digestibility and performance of the chickens. Heat process affects the rate of protein denaturation, starch gelatinization, digestive enzymes accessibility, bacterial counts and toxin degradation of feed. On the other hand, starch gelatinization by heat processing may increase amylase effects to break the chains of amylose and amylopectin, which in turn increases the digestibility of less digestible carbohydrates, improves metabolizable energy and digestibility of amino acids in beans, soybeans, peas and canola. Some concerns have been raised about the inclusion levels of CS in broiler diets. This experiment was carried out to investigate the effect of processing method on apparent metabolizable energy (AME), apparent metabolizable energy corrected for nitrogen (AME_n), apparent dry matter digestibility (ADMD), and apparent nutrients digestibility (and) of CS (Nafis variety) in broiler chickens.

Materials and Methods: This study was designed to determine the nutrient digestibility and, AME_n value of crud and heat processed CS. The CS used in this research was of the Nafis variety, which was sourced from the Astan Quds Razavi farm, Mashhad, Iran. The obtained CS sample was divided to three equal subsamples. One part was unprocessed, second part was micronized; one hour before processing CS was moistened by 20% of the weight, and then placed in a single layer on a vibrating conveyor belt under the infrared emission source at a speed of 6.25 cm/s until the surface temperature of the grain should reach 130°C, and third part super-conditioned under humidity of 16% and temperature of 75-85°C for 3-4 minutes. A total of 48, day-old Ross 308 male broiler chicks was obtained from a commercial hatchery. Chicks were reared and housed in battery brooders in a room. From day one to 10 and 11 to 15, chicks had ad libitum access to conventional corn-soybean meal starter and grower diets, respectively, to meet the nutrient specification of the strain as recommended by Ross 308 manual. A common corn-soybean meal diet was formulated to serve as the reference diet to meet or exceed the nutrient requirements of broiler chicks as described for the Ross 308. The CS samples (row, micronized, and super-conditioning) were

1- Ph.D. Student, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
2- Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
3- Associate Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
*Corresponding Author's Email: Kermansh@um.ac.ir

incorporated into the reference diet at a 40% inclusion rate (60% reference diet and 40% CS). The digestion trial included a 4-day preliminary period in 16–19d of age, followed by 4 days of recorded total feed consumption and excreta collection. The feed was provided ad libitum during the preliminary and the collection period. During the collection period (20-23d of age) total feed intake was measured, and excreta from each cage were collected twice a day, pooled, and kept frozen at -20ºC until subsequent analyses. The excreta samples were oven-dried at 60°C for 72 hours to determine dry matter content. The dried excreta and diet samples were ground through 20 mesh screens, and nutrient content was determined according to (AOAC, 2000). The gross energy of the dried excreta and diet samples was measured with Bomb-calorimeter (Model 1266, PARR). The apparent nutrients digestibility, AME and AME_n of the reference and test diets were determined. Accordingly, apparent nutrients digestibility, AME and AME_n of the CS was calculated as: "$AND, AME and AMEn\ \mathrm{CS} = [AND, \mathrm{AME}\ and\ AMEn\ of\ test\ \mathrm{diet} - 0.6\ \times AND, \mathrm{AME}\ and\ AMEn\ of\ reference\ diet]/0.4$".

Results and Discussion: The average of dry matter, crude protein, ether extract, fiber, ash, and gross energy for CS were 96.20, 17.70, 46.60, 6.00, 4.11%, and 7137 kcal/kg, respectively. The apparent digestibility of dry matter, crude protein, crude fat and AME_n for raw CS in broiler chickens were 54.28±1.19%, 69.42±1.13%, 77.1±1.32%, and 4673±268 kcal/kg of dry matter. Processing of canola by micronization and super-conditioning method numerically increased the dry matter content of CS by 2.46% and 0.88%, respectively. Crude fat and crude protein content also changed with a similar trend to dry matter content. The effect of canola processing on AME and AME_n in broilers was not significantly (P> 0.05). Micronizing process of CS increased ADMD and AME_n values of 7.47% and 117 kcal/kg than non-processed seed, respectively. Super-conditioning process was less effective than micronization on improving CS nutrient digestibility and AME_n values.

Conclusion: The outcomes of the present study showed that spit non-significant effect of heat processing on energy value and nutrients digestibility of CS (Nafis variety) that might be due to better tolerance of chickens fed recent varieties of CS. However, the change in nutrients digestibility and AME_n values of CS with processing by super- conditioning method was poor, a trend of improving nutrient digestibility and AME_n values were seen in micronize process. More research is needed to clarify the response of the chickens when CS in the raw, micronized or conditioned forms.

Keywords: Apparent metabolizable energy, Canola seed, Heat processing, Broiler chickens

نشریه پژوهشهای علوم دامی ایران
Homepage: http://ijasr.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، ص. ۲۱۰-۱۹۹

تأثیر فرآوری حرارتی بر گوارش‌پذیری مواد مغذی و انرژی قابل سوخت و ساز دانه کلزا در جوجه‌های گوشتی

نجیب‌الله فیاض[۱]، حسن کرمانشاهی[۲]*، حیدر زرقی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۰۴

چکیده

این مطالعه به‌منظور بررسی اثر فرآوری حرارتی بر گوارش پذیری ماده خشک، پروتئین خام، چربی خام و انرژی قابل سوخت‌وساز ظاهری تصحیح‌شده برای ازت (AME_n) دانه کلزا با استفاده از تعداد ۴۸ قطعه جوجه‌خروس گوشتی سویه راس (۳۰۸) در سن ۲۳-۱۶ روزگی، به‌روش جایگزینی ماده خوراکی مورد آزمایش با بخشی از جیره مرجع (۶۰ در صد جیره مرجع + ۴۰ در صد دانه کلزا خام یا فرآوری شده) و رکورد کل خوراک مصرفی و فضولات دفعی انجام شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار شامل دانه کلزای خام، میکرونایز و سوپرکاندیشنینگ، شش تکرار و دو قطعه پرنده در هر تکرار انجام شد. میزان قابلیت هضم ظاهری ماده خشک، پروتئین خام، چربی خام و AME_n دانه کلزای خام به‌ترتیب ۱/۱۹±۵۴/۲۸ درصد، ۱/۱۳±۶۹/۴۲ درصد، ۱/۳۲±۷۷/۷۷ درصد و ۲۶۸±۴۶۷۳ کیلوکالری در کیلوگرم ماده خشک به‌دست آمد. اثر فرآوری دانه کلزا (میکرونایز و سوپرکاندیشنینگ) بر قابلیت هضم ماده خشک، پروتئین خام، چربی خام و AME_n آن معنی‌دار نبود. بر اساس نتایج به‌دست آمده از این آزمایش؛ فرآوری حرارتی اثری بر بهبود قابلیت هضم مواد مغذی و انرژی قابل سوخت و ساز دانه کلزای رقم نفیس نداشت. تحقیقات بیشتری برای روشن شدن اثر فرآوری حرارتی بر گوارش‌پذیری مواد مغذی و انرژی قابل سوخت و ساز دانه کلزا در جوجه‌های گوشتی مورد نیاز است.

واژه‌های کلیدی: انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری، جوجه‌های گوشتی، دانه کلزا، فرآوری حرارتی

مقدمه

هزینه خوراک تولید محصولات طیور معمولاً بین ۶۵ تا ۷۵ درصد کل هزینه‌های تولید را در برمی‌گیرد (Haq and Akhtar, 2004)؛ بنابراین، متخصصان تغذیه توجه بیشتری به بررسی جایگزینی مواد کم‌هزینه و باکیفیت برای جیره طیور می‌کنند. منابع پروتئینی گیاهی بخش اصلی تأمین‌کننده پروتئین در جیره طیور هستند که حدود ۳۳/۵ در صد کل هزینه خوراک طیور تجاری را تشکیل می‌دهند (Savage et al., 1980). کلزا یک دانه روغنی با سطح پروتئین بالا، اصلاح شده گونه شلغم روغنی (Rapeseed) است (Veluri and Olukosi, 2020). دانه کلزا تقریباً حاوی ۵۵-۴۰ درصد چربی خام و ۲۲ درصد پروتئین خام است، بیش از ۸۵ در صد چربی آن را اسیدهای چرب ۱۸ کربنی تشکیل می‌دهند، از این مقدار، ۶۰ درصد آن را اسید اولئیک ۱۸:۱ تشکیل می‌دهد (Ackman, 1990; Shen et al., 1983). دانه کلزا محتوای مقدار فراوان اسیدهای آمینه ضروری مانند لیزین، ترئونین، تریپتوفان و اسیدهای آمینه گوگرددار است (Szymeczko et al., 2010). بنابراین، می‌تواند به‌عنوان منبع خوراکی مناسب برای تأمین انرژی و پروتئین در جیره‌های متراکم طیور مطرح شود (Salmon et al., 1988). نتایج تحقیقات مختلف نشان داده است،

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۲- استاد، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۳- دانشیار، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: Kermansh@um.ac.ir)

DOI:10.22067/ijasr.2022.75836.1068

بااستفاده ازدانه کامل کلزا و سویا می‌توان جیره‌های عملی با سطح انرژی و مواد مغذی بالا را در تغذیه جوجه‌های گوشتی (Bayley and Summers, 1975)، بوقلمون های گوشتی (۴۵)، شترمرغ (Brand *et al.*, 2000)، خوک‌های پرواری (Brand et al., 1999)، مرغان تخم‌گذار پر تولید (Najib and Al-Khateeb, 2004; Newkirk and Classen, 2002; Nwokolo and Sim, 1989b) و نشخوارکنندگان پر تولید (Hill, 1991) تهیه کرد.

گزارش شده است استفاده از دانه کلزای خام درتغذیه جوجه‌های گوشتی و خوک باعث کاهش عملکرد ر شد می شود (Bayley and Summers, 1975). گلوکوزینولات و اسید اروسیک مهم‌ترین ترکیبات ضدتغذیه‌ای در دانه کلزا و به‌طور کلی، در گیاهان خانواده براسیکا است (Bell, 1993). برخی ترکیبات نامطلوب دیگر موجود در دانه کلزا شامل فیتات‌ها، پلی‌فنول ها، مواد ایجاد کننده بوی بد و تلخ،کربوهیدرات‌های غیرقابل‌هضم وسایرعوامل ضدتغذیه‌ای ناشناخته است (Leeson and Summers, 2001; Liang *et al* 2002; Maheshwari *et al.*, 1981). به‌طورکلی، فرآوری حرارتی مواد خوراکی قابلیت هضم پروتئین‌ها را باغیر فعال کردن مهار کننده‌های آنزیمی و تغییر دادن ساختار مولکولی پروتئین، باعث ایجادمکان‌های جدیدی برای اثرآنزیم‌ها (Camire., *et al* 1990)، همچنین قابلیت هضم نشاسته را با تغییر ساختمان کریستالی آن (Attar *et al.*, 2017; Netto *et al.*, 2019) بهبود می‌دهد. محققین گزارش کردند با اعمال فرآوری حرارتی بر روی مواد خوراکی با مقدار گلوکوزینولات بالامی‌توان امکان استفاده از این نوع موادخوراکی رابرای تهیه جیره طیور فراهم نمود (Smithard and Eyre, 1986). فرآوری حرارتی نه تنها باعث کاهش گلوکوزینولات‌ها (Fenwick *et al.*, 1986) در کلزا می‌شود، بلکه آنزیم میروزیناز را غیرفعال می‌کند، این ترکیب قادر است گلوکوزینولات را به متابولیت‌های سمی حاوی ایزوتیوسیانات (isothiocyanate)، اگزازولیدین-۲- تیون (oxazolidine-2-thione)و نیتریل‌ها (nitriles) هیدرولیز کند (Huang *et al.*, 1995). اثرات مفید فرآوری حرارتی برای از بین بردن عوامل ضد تغذیه‌ای و بهبود انرژی قابل سوخت و ساز و قابلیت هضم اسیدهای آمینه دانه‌های مورد استفاده در تغذیه همچون لوبیا، سویا، نخود فرنگی و کلزا در مطالعات مختلف تأیید شده است (Alonso *et al.*, 2002; Bayley and Summers, 1975; Jeunink and Cheftel, 1979; Jiménez *et al.*, 2009; Liang *et al.*, 2002; Marzo *et al.*, 2002). همچنین گزارش شده است فرآوری حرارتی باعث افزایش خوش خوراکی کلزا در تغذیه موش‌هامی‌شود (Smithard and Eyre, 1986).

در کارخانه‌های تولید خوراک دام و طیور فرآیند کاندیشنینگ قبل از عبور دان از دای انجام می‌شود، که در این مرحله فرآوری خوراک تحت تأثیر حرارت، رطوبت و فشار انجام می‌شود (Attar *et al.*, 2017). کاندیشنینگ، بر ساختار مولکولی پروتئین، بلوری نشاسته،دسترسی آنزیم‌های گوارشی به نشاسته، تخریب باکتری‌ها و سموم قارچی موجود در مواد خوراکی تأثیر می‌گذارد (Attar *et al.*, 2017; Netto *et al.*, 2019). فرآیند کاندیشنینگ باعث تسهیل شکسته شدن زنجیره‌های آمیلوز و آمیلوپکتین توسط آنزیم آمیلاز می‌شود،که درنتیجه آن قابلیت هضم کربوهیدرات افزایش می‌یابد. طی فرآیند کاندیشنینگ ساختار سوم پروتئین‌ها تغییریافته و قابلیت هضم آن‌ها افزایش می‌یابد (Abdollahi *et al.*,2020; Netto *et al.*, 2019). تحقیقات مختلف نشان داده است، فرآوری اجزای خوراک و یا کل جیره به‌روش کاندیشنینگ باعث بهبود شاخص‌های عملکرد رشد در جوجه‌های گوشتی می‌شود (Abdollahi *et al.*, 2010; Attar *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2013; Lopez and Leeson, 2007; Netto *et al.*, 2019). با تاباندن شعله روی کاشی‌های سرامیکی یا عناصر سیم نیکرومی، تشعشع مادون قرمز تولید می‌شود، جذب تشعشع توسط دانه‌ها باعث گرمایش داخلی سریع و متعاقب آن ژلاتینه شدن نشاسته می شود (Igbasan and Guenter, 1996; Lawrence, 1973). این فرآیند میکرونایز کردن نامیده می‌شود. گزارش شده است، فرآوری خوراک به‌روش میکرونایز باعث بهبود ارزش غذایی جیره خوک‌های در حال رشد (Lawrence, 1973; Savage *et al.*, 1980) و جوجه‌های گوشتی (Douglas *et al.*, 1991) می‌شود. در آزمایش دیگرگزارش شده با میکرونایز نخود ارزش غذایی آن درجوجه‌های در حال رشد بهبود یافته است (Igbasan and Guenter, 1997). با توجه به مطالب فوق، این آزمایش به‌منظور بررسی اثر فرآوری حرارتی (میکرونایز و سوپرکاندیشنینگ) بر قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی و انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری تصحیح شده برای ازت (AME_n) دانه کلزا در جوجه‌های گوشتی انجام شد.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه دانه کلزا مورد آزمایش

دانه کلزا استفاده شده در این طرح پژوهشی از نوع رقم نفیس بود که از مزرعه نمونه آستان قدس رضوی به‌مقدار لازم تهیه و به سه قسمت مساوی تقسیم شد. یک قسمت آن بدون فرآوری، قسمت دوم فرآوری حرارتی به‌روش میکرونایز (در شرکت فرآورده‌ دانه فردوسی مشهد) و قسمت سوم فرآوری حرارتی به‌روش سوپرکاندیشنینگ (در شرکت خوراک دام وطیور دردانه خراسان رضوی) شد. برای میکرونایز کردن از دستگاه میکرونایزر سرامیکی گازی استفاده شد. به این منظور یک ساعت قبل از فرآوری، دانه کلزا به‌میزان ۲۰ درصد وزن ماده مرطوب شد و سپس دانه‌ها به‌صورت یک‌لایه روی نوار نقاله ارتعاشی زیر منبع انتشار مادون‌قرمز با سرعت ۶/۲۵ سانتی‌متر بر ثانیه قرار گرفتند تا زمانی که دمای سطح دانه به ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد بر سد

(Kiczorowska *et al*., 2016). در فرآوری حرارتی سوپرکاندیشنینگ رطوبت ۱۶ درصـــد و حرارت ۸۵-۷۵ درجه ســـانتی‌گراد به‌مدت ۴-۳ دقیقه روی دانه کلزا اعمال شـــد (Teymouri and Hassanabadi, 2021).

پرندگان، جایگاه و شرایط پرورش

در این آزمایش، تعداد ۱۲۰ قطعه جوجه خروس گوشـتی یک‌روزه راس ۳۰۸ تهیه شـــد. جوجه‌ها تا ســـن ۱۵ روزگی با جیره و شـــرایط یکسان پرورش یافتند.

جدول ۱– اجزای تشکیل‌دهنده و ترکیب مواد مغذی جیره‌های آزمایشی

Table 1- The ingredient and nutrient composition of experimental diets

Ingredient composition اجزای تشکیل‌دهنده					Nutrient composition ترکیب مواد مغذی				
اقلام خوراکی (٪) Ingredients (%)	جیره مرجع Reference diet	جیره آزمایش[۱] Test diet[1] 1	2	3	مواد مغذی Nutrient	جیره مرجع Reference diet	جیره آزمایش[۱] Test diet[1] 1	2	3
دانه کلزا Canola seed	0.00	40.00	40.00	40.00	انرژی قابل سوخت‌وساز (کیلو کالری/ کیلوگرم) ME (kcal/kg)	3100	–	–	–
ذرت Corn	51.50	30.90	30.90	30.90	انرژی خام (کیلو کالری/ کیلوگرم) GE (kcal/kg)	4500	5555	5651	5561
کنجاله سویا Soybean meal	38.50	23.10	23.10	23.10	پروتئین خام(٪) CP (%)	21.50	19.98	20.06	19.92
روغن گیاهی Vegetable oil	6.16	3.70	3.70	3.70	چربی خام(٪) Crude Fat (%)	8.09	23.50	23.78	23.87
دی کلسیم فسفات Di-calcium phosphate	1.51	0.91	0.91	0.91	کلسیم(٪) Ca (%)	0.87	-	-	-
سنگ‌آهک Limestone	1.11	0.67	0.67	0.67	فسفر قابل‌دسترس(٪) Available P, (%)	0.43	–	–	–
نمک طعام Common salt	0.44	0.26	0.26	0.26	سدیم(٪) Na (%)	0.20	-	-	-
مکمل ویتامینه[۲] Vitamin- premix[2]	0.25	0.15	0.15	0.15	متیونین قابل‌هضم(٪) Digestible Met (%)	0.47	–	–	–
مکمل معدنی[۳] Mineral- Premix[3]	0.25	0.15	0.15	0.15	متیونین+سیستین قابل‌هضم(٪) Digestible Met + Cyc (%)	0.87	–	–	–
دی–ال میتیونین DL-Methionine	0.24	0.14	0.14	0.14	لیزین قابل‌هضم(٪) Digestible Lys (%)	1.15	–	–	–
دی–ال لیزین L–lysine-HCl	0.04	0.02	0.02	0.02	ترئونین قابل‌هضم(٪) Digestible Thr (%)	0.77	–	–	–

[۱] جیره‌های آزمایش ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب از مخلوط ۴۰ درصد دانه کلزای خام، میکرونایز یا سوپر کاندیشنینگ + ۶۰ درصد جیره مرجع حاصل شدند.

[۲] هر کیلوگرم جیره حاوی ۱۱۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین A؛ ۱۸۰۰ واحد بین‌المللی ویتامینD_3؛ ۳۶ میلی‌گرم؛ ویتامین E؛ ۵ میلی‌گرم ویتامین K3؛۱/۵۳ میلی‌گرمتیامین؛۷/۵ میلی‌گرم ریبوفلاوین؛ ۱۲/۲۴ میلی‌گرم اسید پانتوتنیک؛ ۳۰/۴ میلی‌گرم نیاسین؛۱/۵۳ میلی‌گرم پیریدوکسین؛۰/۰۳ میلی‌گرم بیوتین؛ ۱ میلی‌گرم اسید فولیک؛ ۱/۶ میلی‌گرم سیانوکوبالامین؛۱۱۰۰ میلی‌گرم کولین کلراید، ۰/۱۲۵ میلی‌گرم اتوکسی کوئین.

[۳] هر کیلوگرم جیره حاوی ، ۸۴/۵ میلی‌گرم روی (سولفات–روی)، ۱۶۰ میلی‌گرم منگنز (سولفات–منگنز)، ۲۰ میلی‌گرم مس (سولفات–مس)، ۲۵۰ میلی‌گرم آهن (سولفات آهن)، ۱/۶ میلی‌گرم ید (یدات کلسیم)و ۰/۲ میلی‌گرم سلنیوم (سلنیت سدیم) می‌باشد.

[1]Test diets 1, 2, and 3 were prepared from a mixture of 60% reference diet + 40% crude, micronized or super-conditioning canola seed, respectively.

[2]Vitamin permix Supplied the following, per kilogram of diet: vitamin A, 11000 IU; vitamin D_3, 1800 IU; vitamin E, 36 mg; vitamin K3, 5 mg; thiamine, 1.53 mg; riboflavin, 7.5 mg; panthotenic acid, 12.24 mg; niacin, 30.4 mg; pyridoxine, 1.53 mg; biotin, 0.03 mg; folic acid, 1 mg; cyanocobalamin, 1.6 mg; choline chloride, 1100 mg; etoxycoin, 0.125 mg;

[3]Mineral permix Supplied the following per kilogram of diet: Zn(Zn-sulfate), 84.5 mg; Mn (Mn-sulfate), 160 mg; Cu (Cu-sulfate), 20 mg; Fe (Fe-sulfate), 250 mg; I(calcum iodate), 1.6 mg; Se (Sodum selenite), 0.2 mg.

در سن ۱۶ روزگی تعداد ۴۸ قطعه از پرندگان انتخاب و به‌طور تصادفی بین ۲۴ قفس متابولیکی، (دو قطعه جوجه در هر قفس متابولیکی) توزیع شدند. هر قفس متابولیکی دارای ۳۰ سانتی متر طول ۴۰ سانتی متر عمق و ۴۵ سانتی متر ارتفاع و به آب‌خوری پستانکی خودکار،دان‌خوری ناودانی دستی و سینی کشویی گالوانیزه مخصوص جمع‌آوری فضولات مجهز بود.

تیمارهای آزمایشی

در این آزمایش، گوارش پذیری مواد مغذی و AME_n دانه کلزا به‌روش جایگزینی ماده خوراکی مورد آزمایش با بخشی از جیره مرجع و رکورد کل خوراک مصرفی و فضولات دفعی انجام شد (Toghyani *et al*., 2017; Chibowska *et al*., 2000). جیره مرجع بر اساس احتیاجات جوجه‌های گوشتی توصیه شده توسط راهنمای راس ۳۰۸ سال ۲۰۱۹ (Aviagen, 2019) و آنالیز مواد خوراکی (Leeson and Summers, 2005) به‌کمک نرم‌افزار جیره نویسی UFFDA تنظیم شد. با مخلوط دانه کلزای خام، میکرونایز یا سوپرکاندیشنینگ با جیره مرجع (۶۰ درصد جیره مرجع + ۴۰ درصد ماده خوراکی مورد آزمایش) سه جیره آزمایش تهیه شد (جدول ۱). آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار (سه جیره آزمایش+ یک جیره مرجع)، شش تکرار و دو قطعه پرنده در هر تکرار انجام شد.

رکوردبرداری

جوجه‌ها به مدت هشت روز با جیره‌های آزمایشی (سه جیره آزمایش+یک جیره مرجع) تغذیه شدندکه چهار روز اول (۱۹-۱۶) به منظور دوره عادت‌پذیری و چهار روز بعد (۲۳-۲۰) به‌عنوان دوره رکورد خوراک و جمع‌آوری فضولات در نظر گرفته شد. در دوره جمع‌آوری فضولات، پس از اعمال ۱۲ ساعت محرومیت ازغذا (Tiemouri *et al*., 2019). سینی‌های مخصوص جمع‌آوری فضولات در زیرقفس‌ها قرارگرفتند. جوجه‌ها به مدت سه روز کامل به صورت آزاد با جیره‌های آزمایشی تغذیه شدند و پس از اعمال ۱۲ ساعت محرومیت از غذا سینی‌های جمع‌آوری فضولات برداشته شدند. مقدار جیره مصرفی جوجه‌های هر قفس در سه روز آزمایش با کسر جیره باقی‌مانده از جیره داده شده تعیین شد. فضولات دفعی داخل آون در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۷۲ ساعت قرار داده شدند تا کاملاً خشک شوند. پس از جدا نمودن فلس، پر و سایر ضایعات احتمالی، وزن کل فضولات دفع شده هر قفس تعیین شد (Zarghi *et al*., 2011).

تجزیه شیمیایی

ترکیب شیمیایی (ماده خشک، خاکستر، چربی خام، ازت) نمونه‌های دانه کلزا با و بدون فرآوری (سوپرکاندیشنینگ و میکرونایز)، جیره مرجع، جیره‌های آزمایش و فضولات مطابق روش‌های پیشنهادیAOAC (۲۰۰۰) تعیین شدند (AOAC, 2002). به این منظور، نمونه خوراک و کل فضولات مربوط به هر قفس آسیاب و همگن شدند. برای تعیین ماده خشک، نمونه‌ها داخل دستگاه آون در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد، سپس داخل دسیکاتور تا درجه حرارت آزمایشگاه سرد و ماده خشک آن تعیین گردید. چربی خام توسط دستگاه سوکسله دستی و ازت توسط دستگاه کجلدال اتومات تعیین شد. برای تعیین انرژی خام نمونه‌های دانه کلزا، جیره مرجع، جیره‌های آزمایش و فضولات از بمب کالریمتر (Model, PARR 1261) استفاده شد.

محاسبات

قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی (ماده خشک، خاکستر، ماده آلی، پروتئین خام و چربی خام) در جیره مرجع و جیره‌های آزمایش از طریق معادله ۱، انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری (AME) جیره مرجع و جیره‌های آزمایش از طریق معادله ۲ و از طریق معادله ۳ با تصحیح تعادل ازت مقدار AME_n در جیره مرجع و جیره‌های آزمایش محاسبه شدند. قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی (ماده خشک، خاکستر، ماده آلی، پروتئین خام و چربی خام)، AME و AME_n برای دانه کلزا خام، سوپرکاندیشنینگ و میکرونایز از طریق معادله ۴ به‌دست آمد (Chibowska *et al*., 2000; Toghyani *et al*., 2017).

معادله(۱)

$$AND_{\text{Reference and Test diets}} = \frac{(Nf \times FI) - (Ne \times EX)}{(Nf \times FI)} \times 100$$

معادله(۲)

$$AME_{\text{Reference and Test diets}} = \frac{(\text{GEf} \times \text{FI} - \text{GEe} \times \text{EX})}{\text{FI}}$$

معادله(۳)

$$AMEn_{\text{Reference and Test diet}} = AME_{\text{Reference and Test diet}} - \frac{8.22 \times (\text{Ni} - \text{Ne})}{\text{FI}}$$

معادله (۴)

$$AND, AMEandAMEn_{CS} = \frac{[AND,\ AME\ and\ AMEn\ _{Test\ \mathrm{diet}} - 0.6\ \times\ AND,\ AME\ and\ AMEn\ _{Reference\ \mathrm{diet}}]}{0.4}$$

در این معادله ها، $AND\ _{Reference\ and\ Test\ diet}$: قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی جیره مرجع و یا جیره آزمایش (مخلوط ۶۰ درصد جیره مرجع + ۴۰ درصد دانه کلزا خام، میکرونایز، سوپرکاندیشنینگ)، Nf: غلظت ماده مغذی خوراک، FI: مقدار مصرف خوراک، Ne: غلظت ماد مغذی فضولات و EX: مقدار فضولات دفعی، $AME_{Reference\ and\ Test\ diet}$: انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری (کیلوکالری در گرم) جیره مرجع و یا جیره آزمایش (مخلوط ۶۰ درصد جیره مرجع + ۴۰ درصد دانه کلزا خام، میکرونایز، سوپرکاندیشنینگ)، GEf: انرژی خام خوراک، GEe: انرژی خام فضولات، $AMEn\ _{Reference\ and\ Test\ diet}$: انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری تصحیح‌شده برای ازت (کیلوکالری در گرم) جیره مرجع و یا جیره آزمایشی (مخلوط ۶۰ درصد جیره مرجع + ۴۰ درصد دانه کلزا خام، میکرونایز، سوپرکاندیشنینگ)، Ni: میزان ازت مصرفی (گرم)، Ne: میزان ازت دفعی به (گرم)، $AND, AME\ and\ AMEn_{CS}$: قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی/انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری/انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری تصحیح‌شده برای ازت دانه کلزا (خام، میکرونایز، سوپرکاندیشنینگ) می‌باشند.

آنالیز آماری

نتایج به‌دست آمده از آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SAS ویرایش ۹/۱ (۲۰۰۳) روش مدل عمومی خطی(GLM) تجزیه و تحلیل شدند. میانگین‌های مربوطه با آزمون توکی در سطح احتمالی پنج در صد ($P< ۰/۰۵$) مقایسه شدند. مدل ریاضی طرح آماری به شرح معادله ۶ بود.

معادله(۶) $Xij= \mu + Ti + Eij$

در این معادله، Xij: مقدار صفت مورد نظر، μ: میانگین کل، Ti: اثر تیمار و Eij: خطای آزمایش در هرمشاهده می‌باشند.

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی دانه کلزا

ترکیب شیمیایی نمونه دانه کلزای رقم نفیس مورد استفاده در مطالعه حاضر در جدول ۲ گزارش شده است. میانگین ماده خشک، چربی خام، پروتئین خام، فیبر خام، خاکستر و انرژی خام برای نمونه دانه کلزای مورد مطالعه به‌ترتیب ۹۶/۲۰، ۴۶/۶۰، ۱۷/۷۰، ۶/۰۰، ۴/۱۱ درصد و ۷۱۳۷ کیلوکالری در کیلوگرم به‌دست آمد. ترکیب شیمیایی نمونه دانه کلزای مورد آزمایش در این مطالعه در محدوده اعداد گزارش شده توسط سایر محققین می‌باشد (Assadi *et al*., 2011; Hill, and anderson, 1958; Liang *et al* 2002; Newkirk and Classen, 2002; Salmon *et al*., 1988). فرآوری دانه کلزا به‌روش میکرونایز و سوپرکاندیشنینگ باعث افزایش ماده خشک در دانه کلزا به ترتیب به میزان ۲/۴۶ و ۰/۸۸ درصد شد. چربی خام و پروتئین خام نیز دارای تغییر باروند مشابه ماده خشک بودند. مطابق با نتایج به‌دست آمده از این آزمایش گزارش شده است که میکرونایز دانه‌ها باعث تغییر در ترکیب آن‌ها می‌شود (Igbasan and Guenter, 1996; Douglas *et al*., 1991; Lee *et al*., 1995; Netto *et al*., 2019). این محققین گزارش کردن که فرآوری (میکرونایز) دانه جو و ذرت منجر به کاهش رطوبت، پروتئین خام و برعکس باعث افزایش چربی می‌شود.

قابلیت هضم مواد مغذی دانه کلزا

نتایج مربوط به اثر فرآوری بر قابلیت هضم ماده خشک، پروتئین خام، مواد آلی و خاکستر دانه کلزا درجوجه‌های گوشتی در جدول ۳ گزارش شده است. قابلیت هضم ماده خشک، پروتئین خام، چربی خام، مواد آلی و خاکستر دانه کلزا تحت تأثیر فرآوری واقع نشد ($P>۰/۰۵$). میانگین قابلیت هضم ماده خشک و چربی خام در دانه کلزای میکرونایز شده به‌ترتیب ۶۱/۷۵±۱/۴۵ و ۸۰/۸۷±۱/۵۳ درصد بر اساس ماده خشک به دست آمد. درحالی‌که در دانه کلزا خام قابلیت هضم ماده خشک و چربی خام به ترتیب ۵۴/۲۸±۱/۱۹، ۷۷/۷۷±۱/۳۲ و دردانه کلزای سوپرکاندیشنینگ شده به ترتیب ۵۳/۲۳±۱/۱۹، ۷۸/۷۹±۱/۵۳ بود. با بررسی نتایج مشاهده می‌شود، اگرچه فرآوری دانه کلزا به‌روش سوپرکاندیشنینگ و یا میکرونایز تأثیر معنی‌داری بر قابلیت هضم مواد مغذی دانه کلزا نداشت، ولی با فرآوری دانه کلزا به‌روش میکرونایز قابلیت هضم ماده خشک و قابلیت هضم چربی خام آن به‌ترتیب به‌میزان ۷/۴۷ و ۳/۰۱ درصد بهبود یافته است.

جدول ۲– ترکیب شیمیایی دانه کلزا (رقم نفیس)

Table 2- Chemical composition of canola seed (Nafis varity)

ماده مغذی(٪) Nutrient%	خام Crude	میکرونایز Micronized	سوپرکاندیشنینگ Super-conditioning
ماده خشک(٪) Dry matter (%)	96.20	98.66	97.08
انرژی خام(کیلوکلری/کیلوگرم) Gross energy (kcal/kg)	7137	7377	7152
پروتئین خام(٪) Crud protein (%)	17.70	17.89	17.54
چربی(٪) Ether extract (%)	46.60	47.32	47.53
فیبرخام(٪) Crude fiber (%)	6.00	6.15	6.05
کلسیم(٪) Calcium (%)	0.66	0.68	0.67
فسفر(٪) Phosphorous (%)	0.33	0.34	0.33
خاکستر(٪) Ash (%)	4.11	4.81	3.86

جدول ۳–اثر فرآوری حرارتی بر قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی دانه کلز (رقم نفیس) در جوجه‌های گوشتی

Table 3- Effect of heat processing on apparent nutrient digestibility of canola seed (Nafis variety) in broiler chicken

تیمار Treatment	قابلیت هضم ظاهری (٪) Apparent digestebility (%)				
	خاکستر Ash	پروتئین خام Crude protein	چربی Crude fat	ماده آلی Organic matter	ماده خشک Dry matter
خام Crude	22.13	69.42	77.77	56.00	54.28
میکرونایز Micronization	26.98	69.33	80.78	62.67	61.75
سوپرکاندیشنینگ Super- conditioning	25.51	65.98	78.79	54.53	53.23
خطای استاندارد Standard error	1.39	1.38	1.53	1.17	1.19
سطح احتمال معنی‌داری P-value	0.465	0.270	0.963	0.237	0.225
کانترست خام با فرآوری Crude vs. process	0.751	0.477	0.944	0.284	0.299

در جدول فوق ± نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

In the above table, ± represents the standard error.

مطابق با نتایج به‌دست آمده از این آزمایش گزارش شده است که فرآوری حرارتی اثر معنی‌داری برقابلیت هضـــم پروتئین خام دانه ذرت ندارند (Teymouri and Hassanabadi, 2021). در مقابل با نتایج این آزمایش و گزارش فوق در آزمایش بررســـی اثر فرآوری حرارتی برروی دانه ذرت و برنج نشان داده شده که باپختن قابلیت هضم مواد مغذی بهبود یافته اســت (JM et al., 2007). فرآوری حرارتی ممکن اســت باعث تخریب دیواره ســلولی گیاهی، آزادســازی محتوای آن و افزایش قابلیت دســترســی مواد مغذی برای فرآیند هضــم و جذب در دستگاه گوارش پرنده شود (Jiménez et al., 2009). در این آزمایش با فرآوری دانه کلزا به‌روش سوپرکاندیشنگ قابلیت ه ضم پروتئین خام به‌میزان شش در صدکاهش یافته ا ست. مطابق با نتایج بهد ست آمده از این آزمایش،گزارش شده ا ست که پلت کردن خوراک ممکن اسـت باعث کاهش قابلیت هضـم مواد مغذی در برخی شـرایط گردد (Svihus et al., 2005; Abdollahi et al., 2010). این کاهش به‌خصـوص در رابطه با قابلیت هضـم اسـیدهای آمینه لیزین و آرژنین می توا ند به‌ع لت بروز واکنش میلارد باشـــد. همچنین تخر یب

پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای و تولید نشاسته‌های پس رفتی و ایجاد ترکیبات مقاوم به هضم و کاهش انرژی قابل دسترس باشد (Abdollahi *et al.*, 2010). گزارش شده است قابلیت هضم ایلئومی پروتئین و اسید آمینه در روش فرآوری حرارتی با مدت‌زمان طولانی کاهش می‌یابد (Vahjen *et al.*,2014).

انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری تصحیح شده برای ازت دانه کلزا

نتایج تعیین انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری (AME) و انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری تصحیح شده برای ازت (AME_n) دانه کلزا خام و فرآوری شده (میکرونایز-سوپرکاندیشنینگ) درجوجه‌های گوشتی در جدول ۴ گزارش شده است. انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری تصحیح‌شده برای ازت دانه کلزا خام رقم نفیس در جوجه‌های گوشتی ۴۶۷۳ کیلوکالری در کیلوگرم برآورد شد. نتایج حاصل از این آزمایش در دامنه گزارش سایر محققین؛ ۴۷۹۱-۴۵۰۱ برای شش رقم (Toghyani *et al.*, 2017)، ۴۶۲۰ (Leeson and Summers, 2005)، ۴۶۹۱ (Barekatain *et al.*, 2015.) کیلوکالری در کیلوگرم ماده خشک ارزش AME_n دانه کلزا درجوجه‌های گوشتی قراردارد. تفاوت در ارزش انرژی قابل سوخت‌وساز دانه کلزا تعیین شده در مطالعات مختلف به عواملی ازجمله واریته، شرایط زراعی و آب وهوایی، محتویات مواد مغذی، سطح فاکتورهای ضد تغذیه‌ای، پاسخ متفاوت پرندگان نسبت داده شده است (Sibbald, 1977; Assadi *et al.*, 2011). با افزایش فیبر جیره سرعت عبور محتویات از دستگاه گوارش افزایش یافته و باعث کاهش هضم مواد مغذی و ارزش انرژی ماده خوراکی می‌شود (Toghyani *et al.*, 2017). انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری مواد خوراکی شدیداً تحت تأثیر وجود برخی کمپلکس‌های مضر مانند (تانن‌ها، فیتات‌ها و پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای نامحلول) واقع است، این مواد موجب کاهش اثربخشی آنزیم های گوارشی طی فرآیند هضم همچنین کاهش تماس موادمغذی هضم شده با سطح جذب می شوند (Lee *et al.*, 1995). محققین گزارش نمودند که مقادیر AME و AME_n با محتوای پروتئین دانه کلزا همبستگی منفی و با چربی خام همبستگی مثبت دارد (Toghyani *et al.*, 2014).

جدول ٤-اثر فرآوری حرارتی بر انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری تصحیح شده برای ازت دانه کلزا (رقم نفیس) در جوجه‌های گوشتی

Table 4- Effect of heat processing on apparent metabolizable energy corrected for nitrogen of canola seed (Nafis variety) in broiler chicken

تیمار Treatment	انرژی قابل سوخت و سازی ظاهری تصحیح شده برای ازت، (کیلوگرم/کیلوکالری) ماده خشک AME_n(kcal/kg) DM	انرژی قابل سوخت و سازی ظاهری، (کیلوگرم/کیلوکالری) ماده خشک AME (kcal/kg) DM
خام Crude	4673	4926
میکرونایز Micronization	4790	5089
سوپر کاندیشنینگ Super-conditioning	4705	4918
خطای استاندارد Standard error	104.77	102.68
سطح احتمال معنی‌داری P-value	0.512	0.313

اثر فرآوری بر AME و AME_n دانه کلزا در جوجه‌های گوشتی معنی‌دار ($P>0.05$) نشد. نتایج به‌دست آمده از این آزمایش با گزارش سایر محققین مطابقت دارد (Toghyani *et al.*, 2017; Teymouri and Hassanabadi, 2021; Salavati and Golian, 2021). اگرچه در این آزمایش اثر فرآوری حرارتی بر انرژی قابل سوخت و ساز دانه کلزا معنی‌دار نشد، ولی با فرآوری به‌روش میکرونایز AME_n دانه کلزا به‌میزان ۱۱۷ کیلو کالری در کیلوگرم ماده خشک افزایش یافته است (۴۷۹۰ کیلو کالری در کیلو گرم ماده خشک AME_n دانه کلزا میکرونایز در مقایسه با ۴۶۷۳ کیلوکالری در کیلو گرم ماده خشک AME_n دانه کلزای خام). اعمال فرآوری سوپرکاندیشنینگ دانه کلزا در مقایسه با میکرونایز اثربخشی کمتری داشت، به‌طوری‌که باعث افزایش انرژی قابل سوخت و ساز دانه کلزا به‌میزان ۳۲ کیلوکالری در کیلوگرم ماده خشک شد. اثر غیرمعنی‌دار فرآوری حرارتی بر بهبود ارزش انرژی و قابلیت هضم مواد مغذی دانه کلزا می‌تواند به‌دلیل کاهش عوامل ضد تغذیه‌ای در ارقام جدید کلزا، بنابراین تحمل بهتر کلزای خام توسط جوجه‌های گوشتی باشد (Toghyani *et al.*, 2017).

با توجه به نتایج به‌دست آمده از این آزمایش مشاهده می شود که

AME و AME_n برآورد شـــده برای دانه کلزا دارای تفاوت قابل توجه‌ای اســت (AME دانه کلزای خام ۴۹۲۶ کیلوکالری در کیلوگرم ماده خشــک وAME_n آن ۴۶۷۳ کیلوکالری در کیلو گرم ماده خشـک تعیین شد). پرندگان در حال رشد عمدتاً ازت را به صورت ترکیب بدن (رشـــد) حفظ می‌کنند، که این مقدار ازت ذخیره شـــده دفع انرژی را کاهش می‌دهد (Toghyani *et al*., 2014). درآزمایشات تعادلی برای تعیین انرژی قابل سـوخت‌وساز بسته به این‌که ذخیره ازت مثبت ویا منفی باشـد، مقادیر انرژی قابل سـوخت وسـاز ظاهری وحقیقی برای تعادل صفر ازت تصحیح می‌شود. تصحیح شامل محاسبه مقدار انرژی (۸/۲۲ کیلوکالری انرژی به ازای گرم ازت که به فرم اســید اوریک دفعی) اضــافی اســت که اگر چنانچه همه ازتی که ابقاء شــده بود، کاتابولیزه و دفع می شد، می‌تواند ست در فضولات ظاهر شود (Hill, and anderson, 1958). تصـحیح برای ابقای صـفر ازت باعث این اطمینان می شود که خوراک مصرف شده در تعیین ارزش انرژی تماماً به عنوان منبع انرژی در بدن مورد اســتفاده قرارمی‌گیرد (Leeson and Summers, 2001). مقدار AME بالاتر نســبت به AME_n برآورد شــده برای دانه کلزا در جوجه‌های گوشــتی در این آزمایش با گزارش سایر محققین (Lopez and Leeson, 2007; Barekatain *et al*., 2015; Toghyani *et al*., 2017; Nwokolo and Sim, 1989a) مطابقت دارد. گزارش شده است که این کاهش ارزش انرژی به‌دلیل ابقای مثبت ازت در بدن پرندگان درحال رشــد می‌باشــد (Lopez and Leeson, 2007).

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست آمده از این آزمایش؛ میزان قابلیت هضم ماده خشــک، پروتئین خام، چربی خام و AME_n برای دانه کلزا خام رقم نفیس در جوجه‌های گوشــتی به ترتیب ۱/۱۹±۵۴/۲۸ درصــد، ۱/۱۳±۶۹/۴۲ در صد، ۱/۳۲±۷۷/۷۷ در صد و ۲۶۸±۴۶۷۳ کیلوکالری در کیلوگرم ماده خشــک به‌دســت آمد. فرآوری حرارتی (میکرونایز و سـوپرکاندیشـنینگ) اثری بر بهبود قابلیت هضـم مواد مغذی و انرژی قابل ســوخت و ســاز دانه کلزا (رقم نفیس) نداشــت. به‌طور کلی، تحقیقات بیشتری برای روشن شدن پاسخ جوجه‌ها گوشتی به دانه کلزا به شکل‌های خام و یا فرآوری شده مورد نیاز است.

References

1. Abdollahi, M., Zaefarian, F., Hall, L., & Jendza, J. (2020). Feed acidification and steam-conditioning temperature influence nutrient utilization in broiler chickens fed wheat-based diets. *Poultry Science*, *99*(10),5037-5046. https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.06.056
2. Abdollahi, M., Ravindran, V., Wester, T., Ravindran, G., & Thomas, D. (2010). Influence of conditioning temperature on performance, apparent metabolisable energy, ileal digestibility of starch and nitrogen and the quality of pellets, in broiler starters fed maize-and sorghum-based diets. *Animal Feed Science and Technology*, *162*(3-4),106-115. doi:10.1016/j.anifeedsci.2010.08.017
3. Ackman, R. (1990). Canola fatty acidsan ideal mixture for health, nutrition, and food use. pp. 81-98 in Canola and rapeseed. Springer.
4. Alonso, R., Grant, G., Frühbeck, G., & Marzo, F. (2002). Muscle and liver protein metabolism in rats fed raw or heat-treated pea seeds. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, *13*(10),611-618. https://doi.org/10.1016/S0955-2863(02)00186-9
5. AOAC. (2002). Official methods of analysis. 17th ed. Washington, DC, USA: AOAC International.
6. Assadi, E., Janmohammadi, H., Taghizadeh, A., & Alijani, S. (2011). Nutrient composition of different varieties of full-fat canola seed and nitrogen-corrected true metabolizable energy of full-fat canola seed with or without enzyme addition and thermal processing. *Journal of Applied Poultry Research*, *20*(1),95-101. https://doi.org/10.3382/japr.2010-00201
7. Attar, A., Kermanshahi, H., & Golian, A. (2017). Effects of conditioning and sodium bentonite on performance, relative weight of different organs and blood parameters of broiler chickens in grower period. *Animal Production*, *19*(2),441-453. https://doi.org/10.22059/jap.2017.61708
8. Aviagen. (2019). Ross 308: broiler nutrition specification. H. Aviagen Inc., AL, ed, USA.
9. Barekatain, M., Wu, S., Toghyani, M., & Swick, R. (2015). Effects of grinding and pelleting condition on efficiency of full-fat canola seed for replacing supplemental oil in broiler chicken diets. *Animal Feed Science and Technology*, *207*,140-149. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.05.020
10. Bayley, H., & Summers, J. (1975). Nutritional evaluation of extruded full-fat soybeans and rapeseeds using pigs and chickens. *Canadian Journal of Animal Science*, *55*(3),441-450. https://doi.org/10.4141/cjas75-053
11. Bell, J. (1993). Factors affecting the nutritional value of canola meal: A review. *Canadian Journal of Animal Science* *73*(4),689-697. https://doi.org/10.4141/cjas93-075
12. Brand, T., Van der Merwe, J., & Brandt, D. (1999). Full-fat canola seed meal as a protein source for weaner and grower–finisher pig. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, *39*(1),21-28. https://doi.org/10.1071/EA98100
13. Brand, T., De Brabander, L., Van Schalkwyk, S., Pfister, B., & Hays, P. (2000). The true metabolisable energy

content of canola oilcake meal and full-fat canola seed for ostriches (Struthio camelus*). British Poultry Science, 41*(2),201-203. https://doi.org/10.1080/713654905

14. Camire, M., Camire, A., & Krumhar, K. (1990). Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 29*(1):35-57. https://doi.org/10.1080/10408399009527513
15. Chibowska, M., Smulikowska, S., & Pastuszewska, B. (2000). Metabolisable energy value of rapeseed meal and its fractions for chickens as affected by oil and fibre content. *Journal of Animal and Feed Sciences, 9*(2),371-378. https://doi.org/10.22358/jafs/68054/2000
16. Douglas, J., Sullivan, T., Abdul-Kadir, R., & Rupnow, J. (1991). Influence of infrared (micronization) treatment on the nutritional value of corn and low-and high-tannin sorghum. *Poultry Science*, *70*(7),1534-1539. https://doi.org/10.3382/ps.0701534
17. Fenwick, G., Spinks, E., Wilkinson, A., Heaney, R., & Legoy, M. (1986). Effect of processing on the antinutrient content of rapeseed. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *37*(8),735. https://doi.org/10.1002/jsfa.2740370805
18. Haq, A., & Akhtar, M. (2004). Poultry farming. Higher Education Commission.
19. Hill, F., & Anderson, D., (1958). Comparison of metabolizable energy and productive energy determinations with growing chicks. *Journal of Nutrition, 64*,587-603.
20. Hill, R. (1991). Rapeseed meal in the diets of ruminants. Nutrition abstracts and reviews. Series B, Livestock Feeds and Feeding (United Kingdom).
21. Huang, S., Liang, M., Lardy, G., Huff, H., Kerley, M., & Hsieh, F. (1995). Extrusion processing of rapeseed meal for reducing glucosinolates. Animal *Feed Science and Technology*, *56*(1-2),1-9. https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00826-9
22. Igbasan, F., & Guenter, W. (1996). The enhancement of the nutritive value of peas for broiler chickens: An evaluation of micronization and dehulling processes. *Poultry Science*, *75*(10),1243-1252. https://doi.org/10.3382/ps.0751243
23. Igbasan, F., & Guenter, W. (1997). The influence of micronization, dehulling, and enzyme supplementation on the nutritional value of peas for laying hens. *Poultry Science 76*(2),331-337. https://doi.org/10.1093/ps/76.2.331
24. Jeunink, J., & Cheftel, J. (1979). Chemical and physicochemical changes in field bean and soybean proteins texturized by extrusion. *Journal of Food Science*, *44*(5),1322-1325. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1979.tb06430.x
25. Jiménez, ME., González, AJM., González, SA., Lázaro, R., & Mateos, G. (2009). Effect of dietary fiber and fat on performance and digestive traits of broilers from one to twenty-one days of age. *Poultry Science, 88*(12),2562-2574. https://doi.org/10.3382/ps.2009-00179
26. JM, GA., Jiménez, ME., Lázaro, R. & Mateos, G. (2007). Effect of type of cereal, heat processing of the cereal, and inclusion of fiber in the diet on productive performance and digestive traits of broilers. *Poultry Science, 86*(8),1705-1715. https://doi.org/10.1093/ps/86.8.1705
27. Kiczorowska, B., Samolińska, W., & andrejko, D. (2016). Effect of micronized pea seeds (*Pisum sativum* L.) as a substitute of soybean meal on tissue fatty acid composition and quality of broiler chicken meat. *Animal Science Journal, 87*(11),1396-1406. https://doi.org/10.1111/asj.12592
28. Lawrence, T. (1973). An evaluation of the micronization process for preparing cereals for the growing pig. 1. Effects on digestibility and nitrogen retention. *Animal Science 16*(2),99-107. https://doi.org/10.1017/S0003356100029913
29. Lee, K., & Sim, J. (1995). Metabolizable energy and amino acid availability of full-fat seeds, meals, and oils of flax and canola. *Poultry Science, 74*(8):1341-1348. https://doi.org/10.3382/ps.0741341
30. Leeson, S., & Summers, J. (2001). Nutrition of the chicken. No. 04; SF494, L4 2001., Guelph, Ontario, Canada N1H 6N8.
31. Leeson, S., & Summers, J. (2005). Commercial poultry Nutrition, university books. Guelph, Ontario, Canada:177-178.
32. Liang, M., Huang, S., Huff, H., Kerley, M. & Hsieh, F. (2002). Extrusion cooking of rapeseed meal for feeding value improvement. *Applied Engineering in Agriculture*, *18*(3),325. https://DOI:10.13031/2013.8584
33. Liu, S., Selle, P., & Cowieson, A. (2013). Influence of conditioning temperatures on amino acid digestibility coefficients at four small intestinal sites and their dynamics with starch and nitrogen digestion in sorghum-based broiler diets. *Animal Feed Science and Technology*, *185*(1-2),85-93. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.07.008
34. Lopez, G. & Leeson, S. (2007). Relevance of nitrogen correction for assessment of metabolizable energy with broilers to forty-nine days of age. *Poultry Science, 86*(8),1696-1704. https://doi.org/10.1093/ps/86.8.1696
35. Maheshwari, P., Stanley, D. & Gray, J. (1981). Detoxification of rapeseed products. *Journal of Food Protection, 44*(6),459-470. https://doi.org/10.4315/0362-028X-44.6.459
36. Marzo, F., Alonso, R., Urdaneta, E., Arricibita, F., & Ibanez, F. (2002). Nutritional quality of extruded kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L. var. Pinto) and its effects on growth and skeletal muscle nitrogen fractions in rats. *Journal of Animal Science, 80*(4),875-879. https://doi.org/10.2527/2002.804875x
37. Najib, H., & Al-Khateeb, S. (2004). The effect of incorporating different levels of locally produced canola seeds (*Brassica napus*, L.) in the diet of laying hen. *International Journal of Poultry Science, 3*(7),490-496.

https://DOI: 10.3923/ijps.2004.490.496
38. Netto, M.T., Massuquetto, A., Krabbe, E., Surek, D., Oliveira, S., & Maiorka, A. (2019). Effect of conditioning temperature on pellet quality, diet digestibility, and broiler performance. *Journal of Applied Poultry Research, 28*(4),963-973. https://doi.org/10.3382/japr/pfz056
39. Newkirk, R. & Classen, H. (2002). The effects of toasting canola meal on body weight, feed conversion efficiency, and mortality in broiler chickens. *Poultry Science, 81*(6):815-825. https://doi.org/10.1093/ps/81.6.815
40. Nwokolo, E., & Sim, J. (1989a). Barley and full-fat canola seed in broiler diets. *Poultry Science, 68*(10),1374-1380. https://doi.org/10.3382/ps.0681374
41. Nwokolo, E. & Sim, J. (1989b). Barley and full-fat canola seed in layer diets. *Poultry Science, 68*(11),1485-1489. https://doi.org/10.3382/ps.0681485
42. Salavati, S., & Golian, A. (2021). Determination of metabolisable energy of wheat processed at different temperatures and effect of their inclusion in mash diets with and without enzyme supplementation on small intestine morphology and growth performance of broiler chickens during 11-24 days. *Iranian Journal of Animal Science Research, 3*(2),275-290. (In Persian).
43. Salmon, R., Stevens, V., & Ladbrooke, B. (1988). Full-fat canola seed as a feedstuff for turkeys. *Poultry Science, 67*(12),1731-1742. https://doi.org/10.3382/ps.0671731
44. Savage, G., Smith, W., & Briggs, P. (1980). A note on the influence of micronization and polyethylene glycol on the nutritional value of brown sorghum for growing pigs. *Animal Science, 30*(1),157-160. https://doi.org/10.1017/S0003356100023904
45. Shen, H., Summers, J., & Leeson, S. (1983). The influence of steam pelleting and grinding on the nutritive value of canola rapeseed for poultry. *Animal Feed Science and Technology, 8*(4),303-311. https://doi.org/10.1016/0377-8401(83)90050-0
46. Sibbald, I. (1977). The true metabolizable energy values for poultry of rapeseed and of the meal and oil derived therefrom. *Poultry Science, 56*(5),1652-1656. https://doi.org/10.3382/ps.0561652
47. Smithard, R., & Eyre, M. (1986). The effects of dry extrusion of rapeseed with other feedstuffs upon its nutritional value and anti-thyroid activity. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 37*(2),136-140. https://doi.org/10.1002/jsfa.2740370206
48. Svihus, B., Uhlen, A., & Harstad, O. (2005). Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. *Animal Feed Science and Technology, 122*(3-4),303-320. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.02.025
49. Szymeczko, R., Topolinski, T., Burlikowska, K., Piotrowska, A., Boguslawska, T., & Blaszyk, J. (2010). Effects of different levels of rape seeds in the diet on performance, blood and bone parameters of broiler chickens. *Journal of Central European Agriculture, 11*(4), 393-400. https://DOI:10.5513/JCEA01/11.4.843
50. Teymouri, M., & Hassanabadi, A. (2021). Influence of corn conditioning temperature and enzyme supplementation on growth performance, nutrient utilisation and intestine morphology of broilers fed mash corn-soy diets. *Italian Journal of Animal Science, 20*(1):1015-1028. https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.1943015
51. Tiemouri, H., Zarghi, H., & Golian, A. (2019). Effect of enzyme supplementation on AMEn, dry matter and crude protein digestibility of hull-less barley in broiler chickens. *Iranian Journal of Animal Science Research, 13*(3),369-388. (In Persian).
52. Toghyani, M., Rodgers, N., Barekatain, M., Iji, P., & Swick, R. (2014). Apparent metabolizable energy value of expeller-extracted canola meal subjected to different processing conditions for growing broiler chickens. *Poultry Science, 93*(9),2227-2236. https://doi.org/10.3382/ps.2013-03790
53. Toghyani, M., Swick, R., & Barekatain, R. (2017). Effect of seed source and pelleting temperature during steam pelleting on apparent metabolizable energy value of full-fat canola seed for broiler chickens. *Poultry Science, 96*(5),1325-1333. https://doi.org/10.3382/ps/pew401
54. Vahjen, W., Mader, A., Knorr, F., Ruhnke, I., Röhe, I., Hafeez, A., Villodre, C., Männer, K., & Zentek, J. (2014). The effects of different thermal treatments and organic acid levels in feed on microbial composition and activity in gastrointestinal tract of broilers. *Poultry Science, 93*(6),1440-1452. https://DOI: 10.3382/ps.2013-03763
55. Veluri, S., and Olukosi, O. (2020). Metabolizable energy of soybean meal and canola meal as influenced by the reference diet used and assay method. *Animals, 10*(11),2132. https://doi.org/10.3390/ani10112132
56. Zarghi, H., Golian, A., Kermanshahi, H., & Aghel, H. (2011). Effect of enzyme supplementation on metabolisable energy of corn, wheat and triticale grains in broiler chickens using total excreta collection or marker methods. *Iranian Journal of Animal Science Research, 3*(2),105-112. (In Persian).